



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΟΠΑΙΔΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΣΚΗΣΗ ΥΨΗΛΗΣ
ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ ΚΑΙ ΜΥΪΚΗ ΘΕΥΓΟΝΩΣΗ.
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΦΗΒΩΝ ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΩΝ ΠΟΔΗΛΑΤΩΝ»**

Καρπούζου Βασιλική (1900221)

Κοκολιού Ελένη (1900222)

Επιβλέπων καθηγητής: Χ.Κ. Γιαννακόπουλος

ΙΟΥΝΙΟΣ 2024

© Copyright

Καρπούζου Βασιλική, Κοκολιού Ελένη
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη της επίδρασης της αναερόβιας κόπωσης μετά από άσκηση υψηλής έντασης στην εγκεφαλική και μυϊκή οξυγόνωση σε εφήβους και ενήλικες ποδηλάτες. Εξετάστηκαν 22 υγιείς άντρες αθλητές ταχυδυναμικού αγωνίσματος, ηλικίας 16 έως 28 ετών. Οι δοκιμαζόμενοι υπεβλήθησαν σε δοκιμασία αναερόβιας μυϊκής κόπωσης (Wingate Test) 30 δευτερολέπτων στο κυκλοεργόμετρο Monark 894 E. Πριν την έναρξη της δοκιμασίας έγινε τοποθέτηση 2 αισθητήρων του INVOS™ 5100C Cerebral/Somatic Oximeter στον μετωπιαίο λοβό και 2 ακόμα στον έξω πλατύ μυ αμφοτερόπλευρα, στη μεσότητα του μηρού. Μετρήθηκαν η μέγιστη ισχύς και η αναερόβια ικανότητα σε απόλυτες τιμές (W) και σε σχέση με το σωματικό βάρος (W/kg) καθώς και η οξυγόνωση εγκεφάλου και μυών σε πραγματικό χρόνο. Οι παράμετροι της εγκεφαλικής και της μυϊκής οξυγόνωσης εξετάστηκαν στατιστικά με την δοκιμασία t κατά ζεύγη. Οι παράμετροι του έργου που ελήφθησαν από το κυκλοεργόμετρο συγκρίθηκαν με δοκιμασία t για ανεξάρτητα δείγματα. Η κανονικότητα της κατανομής ελέγχθηκε με την δοκιμασία Kolmogorov-Smirnov.

Η μέση τιμή της εγκεφαλικής οξυγόνωσης, σύμφωνα με τον δείκτη rSO_2 που μετρά η συσκευή ήταν σε εφήβους και ενήλικες $68,7 \pm 8,47$ και $74,5 \pm 7,53$, ενώ η χαμηλότερη τιμή της εγκεφαλικής οξυγόνωσης ήταν αντίστοιχα $34,1 \pm 10,87$ και $37,5 \pm 14,54$. Οι διαφορές ήταν σημαντικές μεταξύ τους, αλλά όχι μεταξύ των δύο ομάδων. Αντίστοιχα, για την μυϊκή οξυγόνωση, η αρχική τιμή σε εφήβους και ενήλικες ήταν $77,3 \pm 15,55$ και $72,5 \pm 9,98$ και η χαμηλότερη τιμή $17,9 \pm 12,70$ και $15,5 \pm 14,53$ αντίστοιχα. Υπήρχε διαφορά αρχικής και χαμηλότερης τιμής, αλλά όχι διαφορά μεταξύ των 2 ομάδων. Όσον αφορά τις παραμέτρους της δοκιμασίας wingate, η παράμετρος W ήταν, σε εφήβους και ενήλικες αντίστοιχα, 1086.0690 ± 495.49364 και 1226.7742 ± 383.56814 , η παράμετρος W/kg 15.6520 ± 4.07769 και 17.4250 ± 5.32693 και η παράμετρος Pd% 61.1570 ± 16.33501 και 64.4942 ± 8.24610 , αντίστοιχα. Όλες οι παράμετροι ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες στους ενήλικες αθλητές αντίστοιχα. Η μυϊκή και η εγκεφαλική οξυγόνωση μειώνονται σημαντικά κατά την αναερόβια καταπόνηση. Η μυϊκή οξυγόνωση μειώθηκε σύντομα μετά την έναρξη της άσκησης ενώ η εγκεφαλική οξυγόνωση μειώθηκε καθυστερημένα, μετά το πέρας της άσκησης. Η μέγιστη αναερόβια δοκιμασία κόπωσης προκαλεί σημαντική μείωση τόσο στην εγκεφαλική, όσο και στην μυϊκή οξυγόνωση και μάλιστα με συμμετρικό τρόπο και στις δύο πλευρές του εγκεφάλου, αλλά και των μυών. Η μυϊκή ανταπόκριση είναι σχετικά άμεση, ενώ η εγκεφαλική ανταπόκριση όψιμη, μετά το πέρας της δοκιμασίας.

Λέξεις κλειδιά: αναερόβια κόπωση, wingate, εγκεφαλική οξυγόνωση, μυϊκή οξυγόνωση, ποδηλασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	iii
Πίνακας Περιεχομένων	v
Κατάλογος Εικόνων	vii
Κατάλογος Πινάκων	vii
Κατάλογος Διαγραμμάτων	vii
Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών.....	viii
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ορισμός του προβλήματος και σκοπός της έρευνας	1
1.2 Σημασία της έρευνας	1
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις.....	1
1.4 Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας	1
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	2
2.1 Μυοσκελετικό σύστημα	2
2.2 Σύνθεση μυός.....	3
2.3 Ταξινόμηση μυϊκών ινών	5
2.4 Μυϊκή σύσπαση.....	5
2.5 Μυϊκή κόπωση.....	6
2.6 Μέτρηση μυϊκής κόπωσης	7
2.7 Αξιολόγηση αναερόβιας ικανότητας	8
2.7.1 Εγκυρότητα και Αξιοπιστία Δοκιμασίας Αναερόβιας Κόπωσης (Wingate Test).....	9
2.8 Αναερόβια δοκιμασία Wingate	9
2.8.1 Power Output	10
2.8.2 Τι μετράει το Wingate Anaerobic Test;	11
2.8.3 Υπολογισμός Μέγιστης Ισχύος Εξόδου	12
2.8.4 Υπολογισμός Αναερόβιας Κόπωσης/ Δείκτη Αναερόβιας Κόπωσης	12
2.8.5 Υπολογισμός Αναερόβιας Ικανότητας (AC)	12
2.9 Εγκεφαλική οξυγόνωση	12
2.10 Συσκευή NIRS INVOS	15

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	17
3.1 Δείγμα	17
3.2. Πρωτόκολλο πειράματος και πειραματική διαδικασία.....	18
3.3 Δοκιμαζόμενοι	19
3.4 Στατιστική ανάλυση	24
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	24
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	26
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	27
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	27
VIII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	30

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Οργάνωση μυός (Bonetto & Bonewald, 2019)	4
Εικόνα 2.2 Ταχύτητα ροής αίματος στη μέση εγκεφαλική αρτηρία κατά τη διάρκεια σταδιακής άσκησης, με (ανοιχτά σύμβολα) και χωρίς (συμπαγή σύμβολα) «ρυθμίσεις» για την αρτηριακή τάση διοξειδίου του άνθρακα. Δεδομένα 7 ατόμων. (Nybo & Rasmussen, 2007).....	14
Εικόνα 3.1 Το κυκλοεργόμετρο Monark 894 E που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη μας.....	19
Εικόνα 3.2 Σε κάθε δοκιμαζόμενο χρησιμοποιήθηκαν 2 ηλεκτρόδια της συσκευής in- nos, τα οποία τοποθετήθηκαν στη μεσότητα του έξω πλατέως μυός αμφοτερό- πλευρα.....	20
Εικόνα 3.3 Σε κάθε δοκιμαζόμενο τοποθετήθηκαν επίσης 2 ηλεκτρόδια της συσκευής innos αντίστοιχα με τους μετωπιαίους λοβούς.....	21
Εικόνα 3.4 Με την συσκευή innos γίνεται καταγραφή σε πραγματικό χρόνο της ιστικής αγγείωσης του εγκεφάλου και των τετρακεφάλων μυών.....	22
Εικόνα 3.5 Οι αισθητήρες φωτός της συσκευής.....	22
Εικόνα 3.6 Ένας έφηβος ποδηλάτης κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης.....	23

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Η μεταβολή της εγκεφαλικής οξυγόνωσης.....	24
Πίνακας 4.2 Η μεταβολή της μυϊκής οξυγόνωσης.....	25

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1 Απεικόνιση της αγγείωσης του εγκεφάλου αμφοτερόπλευρα.....	25
Διάγραμμα 4.2 Απεικόνιση της αγγείωσης του τετρακεφάλου μυός αμφοτερό- πλευρα.....	26

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

NIRS: Near Infrared Spectroscopy.....	15
PPO: Έξοδος μέγιστης ισχύος.....	11
RPP: Σχετική μέγιστη ισχύς εξόδου.....	11
AF: Αναερόβια κόπωση/Δείκτης κόπωσης.....	12
AC: Αναερόβια ικανότητα.....	12
BW (kg): 7.5% του ΣΒ του δοκιμαζόμενου.....	10
PP(W): μέγιστη ισχύς σε Watt.....	11
PP(W/kg): Μέγιστη Ισχύς/ κιλό ΣΒ.....	11
tPP (ms): (time to reach Peak Ppower) χρόνος μέχρι την παραγωγή μέγιστης ισχύος..	11
AP (W): Average Power – Μέση Ισχύς (watt) (το σύνολο των τιμών για τα 30 δευτερόλεπτα).....	11
AP (W/kg): Μέση Ισχύς W/kg.....	11
MP (W): minimum power – η τιμή της ελάχιστης ισχύος που αναγράφηκε για 1 δευτερόλεπτο.....	11
MP (W/kg): minimum power/kg.....	11
PD (W): Power Decline – ο ρυθμός μείωσης της ισχύος – Fadigue Index.....	11
PD (W/kg): power decline w/kg.....	11
PD (W/s): power decline w/s.....	11
PD (W/s/kg): power decline w/s/kg.....	11
PD (%): $[(PP - MP)/PP] \times 100$	11
PW (J): αντίσταση σε κιλά * 9.81 * απόσταση που διανύεται (σε J).....	11
Vmax (rpm): η μέγιστη ταχύτητα σε περιστροφές (rpm).....	11
P Vmax (W): η ισχύς στη μέγιστη ταχύτητα σε watt.....	11
T Vmax (ms): ο χρόνος μέχρι την μέγιστη ταχύτητα.....	11

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός του προβλήματος και σκοπός της έρευνας

Είναι γνωστό ότι τα επίπεδα οξυγόνου στον εγκέφαλο κατά τη διάρκεια υπομέγιστης άσκησης μειώνονται. Σκοπός της έρευνας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της αναερόβιας κόπωσης στην μυϊκή οξυγόνωση μέσω της επικείμενης πειραματικής διαδικασίας διερευνώντας αν θα υπάρξει διαφορά στην εγκεφαλική και μυϊκή οξυγόνωση μετά την αναερόβια μυϊκή κόπωση. Η πειραματική διαδικασία θα επικεντρωθεί στον τετρακέφαλο μυ για τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων που αφορούν την μυϊκή οξυγόνωση.

1.2 Σημασία της έρευνας

Ο κύριος στόχος της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση των πιθανών μεταβολών στην εγκεφαλική και στην μυϊκή οξυγόνωση κατά την διαδικασία μέγιστης αναερόβιας καταπόνησης. Η διαπίστωση πιθανών μεταβολών μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνικών προπόνησης που θα επηρεάσουν θετικά τις παρατηρούμενες μεταβολές.

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις

Ερώτημα πρώτο: Υπάρχει μεταβολή στην οξυγόνωση του εγκεφάλου κατά την δοκιμασία wingate;

Ερώτημα δεύτερο: Υπάρχει μεταβολή στην οξυγόνωση του τετρακεφάλου κατά την δοκιμασία wingate;

1.4 Οριοθετήσεις και περιορισμοί έρευνας

Οι συμμετέχοντες στην μελέτη ήταν έφηβοι και νεαροί ενήλικες, ενεργοί αθλητές ηλικίας 16 έως 28 ετών. Κανένας από τους εξεταζόμενους δεν παρουσιάζει συστηματικές παθήσεις και δεν λαμβάνει φάρμακα που θα ήταν δυνατό να επηρεάσουν την μυϊκή δύναμη και απόδοση. Οι εξεταζόμενοι δεν είχαν καταναλώσει αλκοόλ ή άλλα φάρμακα που επηρεάζουν την μυϊκή απόδοση. Οι εξεταζόμενοι δεν είχαν ασκηθεί σε βαθμό κόπωσης τουλάχιστον 72

ώρες από την συμμετοχή τους ή είχαν πάρει φάρμακα ή τρόφιμα που επηρεάζουν την καρδιακή ή την μυϊκή λειτουργία.

Στην μελέτη οι δοκιμαζόμενοι είναι ενεργοί αθλητές ηλικίας 16-28 ετών και επομένως τα συμπεράσματα δεν είναι δυνατό να γενικευθούν σε άλλες πληθυσμιακές ομάδες.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Μυοσκελετικό σύστημα

Είναι γνωστό ότι το ανθρώπινο σώμα έχει 660 σκελετικούς μυς, που αποτελούν το 40-45% του σωματικού βάρους ενήλικα άνδρα και το 23-25% ενήλικης γυναίκας (Κλεισούρας, 2011). Οι σκελετικοί μυς είναι από τους πιο δυναμικούς και πλαστικούς ιστούς του ανθρώπινου σώματος και περιέχουν το 50-75% όλων των πρωτεϊνών (Exeter & Connell, 2010). Βρίσκονται στον αυχένα, στο τοίχωμα του κορμού και στα άκρα, όπου κινούν και στηρίζουν τον σκελετό. Είναι πολυπύρηνοι, γραμμωτοί και εκούσιοι (Gilroy, 2017).

Το μυοσκελετικό σύστημα είναι ένα από τα κεντρικά συστήματα οργάνων του σώματος. Αποτελείται από μυς, τένοντες, χόνδρους, συνδέσμους, συνδετικούς ιστούς και νεύρα. Οι μυς είναι ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη ζωή, διατηρούν τη στάση και την ισορροπία, έχουν ουσιαστικό ρόλο στην αναπνευστική μηχανική, προσφέρουν προστασία των εσωτερικών οργάνων και αποθηκεύουν μέταλλα, λίπος και υδατάνθρακες σε μορφή γλυκογόνου. Διευκολύνουν την κίνηση των ουσιών στο εσωτερικό του σώματος και την παραγωγή θερμότητας. Τέλος, βοηθούν στην επιστροφή του φλεβικού αίματος από τα κάτω άκρα στη δεξιά πλευρά της καρδιάς. (Constantin-Teodosiu & Constantin, 2021)

Το μυϊκό σύστημα αποτελείται από τους μυς και τους τένοντές τους, οι οποίοι παράγουν κίνηση μέσω της σύσπασης των μυϊκών κυττάρων. Τα μυϊκά κύτταρα αποτελούν τις δομικές μονάδες του μυϊκού συστήματος. (Gilroy, 2017). Οι μυς ταξινομούνται ανάλογα με την εμφάνιση, τη θέση και τη νεύρωσή τους σε γραμμωτούς ή λείους, σπλαχνικούς ή σωματικούς/σκελετικούς και εκούσιους ή ακούσιους. Οι σπλαχνικοί μυς μεταβάλλουν το σχήμα των εσωτερικών δομών, είναι ακούσιοι και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τον καρδιακό μυ ή μυοκάρδιο που είναι γραμμωτός και τους λείους.

Ο σκελετικός μυς συμβάλλει σε πολλαπλές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Από μηχανική άποψη, η κύρια λειτουργία των σκελετικών μυών είναι να μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε μηχανική για να παραχθεί δύναμη και ισχύς, να διατηρούν τη στάση του σώματος, να συμβάλλουν στη λειτουργική ανεξαρτησία, να παράγουν κίνηση, να ενισχύουν την υγεία. Μάλιστα, η μειωμένη μυϊκή μάζα βλάπτει την ικανότητα του σώματος να ανταποκρίνεται στο στρες και στις χρόνιες ασθένειες. Από μεταβολική άποψη, οι σκελετικοί μυς συμβάλλουν στον βασικό μεταβολισμό ενέργειας, καθώς αποθηκεύουν αμινοξέα και υδατάνθρακες, παράγουν θερμότητα για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του πυρήνα και την κατανάλωση της πλειονότητας του οξυγόνου (Frontera & Ochala, 2015).

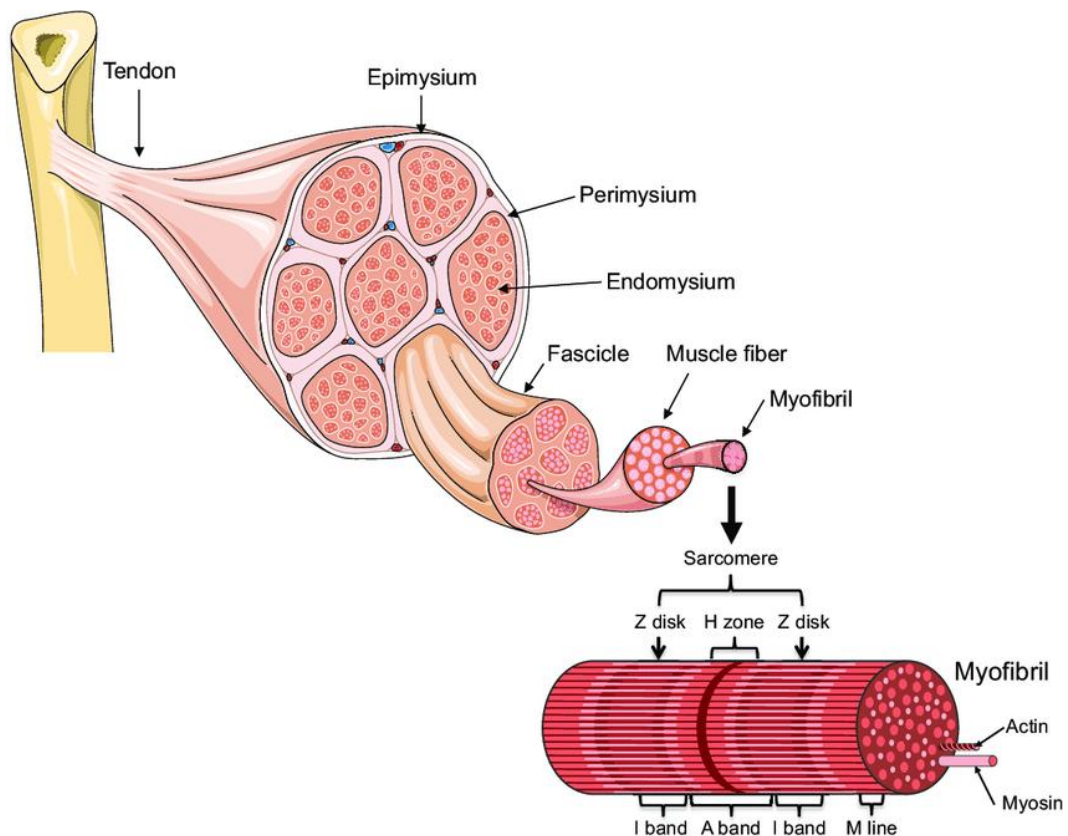
2.2 Σύνθεση μυός

Το μυϊκό κύτταρο απαρτίζεται από νερό, σαρκόπλασμα κατά 75% και πρωτεΐνες κατά 20%, 12% μυοσίνη και 8% ακτίνη. Το υπόλοιπο 5% βρίσκεται στο περιβάλλον του σαρκοπλάσματος και περιέχει αμινοξέα, γλυκογόνο, λίπη, ανόργανα άλατα και άλλες ουσίες. (Gilroy, 2017).

Καθένας από τους σκελετικούς μυς του ανθρώπου αποτελείται από εκατοντάδες έως εκατοντάδες χιλιάδες μεμονωμένα επιμήκη πολυπύρηνα κύτταρα που ονομάζονται ίνες. (Brooks, 2003). Οι ίνες αυτές είναι τα κύτταρα του μυός και κάθε μυϊκή ίνα αποτελείται από πολλά μυοϊνίδια. Το μυοϊνίδιο αποτελείται από σαρκομέρια, που είναι διατεταγμένα στον επιμήκη άξονα του μυός και είναι η λειτουργική μονάδα του συσταλτικού συστήματος του μυός. Το βασικότερο χαρακτηριστικό του σαρκομερίου, είναι ο γραμμωτός σχηματισμός ανοιχτής και σκούρας απόχρωσης. Αποτελείται από λεπτά και παχιά μυονημάτια, τα οποία περιέχουν πρωτεΐνες που συμμετέχουν στη διαδικασία της μυϊκής συστολής. Τα παχιά περιέχουν την μυοσίνη και τα λεπτά την ακτίνη (Κλεισούρας, 2011). Ο αριθμός των μυοϊνιδίων που διατάσσονται παράλληλα καθορίζει και την ικανότητα παραγωγής δύναμης της ίνας. (Brooks, 2003)

Κάθε μυϊκή ίνα περιβάλλεται από το σαρκεύλημμα, μια κυτταρική μεμβράνη που προστατεύει το σαρκόπλασμα του μυϊκού κυττάρου όπου περιέχονται όλα τα συστατικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την απελευθέρωση ενέργειας κατά τη μυϊκή δράση. Κάθε μυϊκή

ίνα ή μυοκύτταρο περιβάλλεται από συνδετικό ιστό γνωστό ως ενδομύιο, ο οποίος οργανώνει και ομαδοποιεί τις μυϊκές ίνες σε πρωτογενείς δεσμίδες. Οι δεσμίδες αυτές συνδέονται μεταξύ τους σε δευτερογενείς δεσμίδες με το περιμύιο για να σχηματίσουν τον πλήρη μυ, ο οποίος περιβάλλεται από το επιμύιο, έναν πιο ισχυρό συνδετικό ιστό που βρίσκεται εν τω βάθει της περιτονίας του. Μυϊκή περιτονία ονομάζεται ο ανθεκτικός συνδετικός ιστός που περικλείει το μυ, διατηρεί το σχήμα του και επιτρέπει την κίνηση μεταξύ μυϊκών ομάδων χωρίς τριβή. Όλοι αυτοί οι προστατευτικοί υμένες συγχωνεύονται και σχηματίζουν έναν ανθεκτικό συνδετικό ιστό, τον τένοντα, ο οποίος μεταβιβάζει τη δύναμη που παράγει ο μυς στο σημείο κατάφυσής του και έτσι προκαλείται κίνηση (Κλεισούρας, 2011).



Εικόνα 2.1 Οργάνωση μύος (Bonetto & Bonewald, 2019)

2.3 Ταξινόμηση μυϊκών ινών

Οι μυϊκές ίνες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο είδη με βάση την ταχύτητα συστολής τους, και σε τρία είδη με βάση τις μεταβολικές τους ιδιότητες. Με βάση την ταχύτητα συστολής

διακρίνονται αργές ίνες βραδείας συστολής και γρήγορες ίνες ταχείας συστολής. Με βάση τις ιστοχημικές τους ιδιότητες διακρίνονται ίνες οξειδωτικές (τύπος I), οξειδωγλυκολυτικές (τύπος IIa) και γλυκολυτικές (τύπος IIb ή IIx) (Κλεισούρας, 2011).

Οι μυϊκές ίνες βραδείας συστολής είναι οξειδωτικές, ανθεκτικές στον κάματο και έχουν όλες τις μορφολογικές, λειτουργικές και μεταβολικές ιδιότητες που είναι απαραίτητες για αερόβια παραγωγή ενέργειας και μυϊκό έργο αντοχής (Κλεισούρας, 2011). Περιέχουν πολλά μιτοχόνδρια και μιτοσφαιρίνη και είναι περισσότερο αερόβιες σε σύγκριση με τις ίνες ταχείας συστολής. Οι ίνες αυτές τροφοδοτούνται με αίμα αφού τις περιβάλλουν περισσότερα τριχοειδή αγγεία (Constantin-Teodosiu & Constantin, 2021).

Οι μυϊκές ίνες ταχείας συστολής διακρίνονται σε οξειδωγλυκολυτικές (τύπου IIa) που είναι ημι-ανθεκτικές στον κάματο και σε γλυκολυτικές (τύπου IIx) που είναι ευαίσθητες στον κάματο (Κλεισούρας, 2011) Οι μυϊκές ίνες ταχείας συστολής δημιουργούν μεγαλύτερη ένταση και ισχυρότερες δυνάμεις, αλλά για μικρότερο χρονικό διάστημα, καθώς επέρχεται κούραση γρήγορα. Είναι πιο αναερόβιες με λιγότερη παροχή αίματος. (Constantin-Teodosiu & Constantin, 2021)

Οι ίνες ταχείας συστολής παράγουν τη μέγιστη δύναμή τους σε μικρό χρόνο (περίπου 50msec), ενώ οι ίνες βραδείας συστολής χρειάζονται διπλάσιο περίπου χρόνο (110msec). Στους περισσότερους μυς παρατηρείται ίση κατανομή ινών βραδείας και ταχείας συστολής. Η επιστράτευση των μυϊκών ινών εξαρτάται από τη διεγερσιμότητά τους. Σε προσπάθειες χαμηλής έντασης συμμετέχουν κυρίως ίνες βραδείας συστολής, ενώ οι ίνες ταχείας συστολής επιστρατεύονται μόνο σε έντονες μυϊκές προσπάθειες (Κλεισούρας, 2011).

2.4 Μυϊκή σύσπαση

Μυϊκή σύσπαση ή συστολή, ονομάζεται η μηχανική απόκριση ενός απομονωμένου μυός σε ένα ηλεκτρικό ερέθισμα και χαρακτηρίζεται από τρεις χρονικές περιόδους: την λανθάνουσα περίοδο, την περίοδο συστολής και την περίοδο χαλάρωσης. Ο όρος μυϊκή συστολή είναι γενικός όρος και αναφέρεται στη μυϊκή δράση και συγκεκριμένα στην ενεργοποίηση του συμπλέγματος της ακτομυοσίνης για την παραγωγή δύναμης (Κλεισούρας, 2011).

Υπάρχουν τρία είδη μυϊκής συστολής, η μειομετρική, η πλειομετρική και η ισομετρική και η ονομασία τους προέρχεται από το πως μεταβάλλεται το μήκος του μυός όταν αυτός συσπάται. Όλα τα είδη μυϊκής συστολής συμβαίνουν φυσικά κατά την κίνηση του σώματος.

Κατά τη μειομετρική ή ομόκεντρη συστολή ο μυς υπερνικά την αντίσταση και μετατοπίζει την εξωτερική επιβάρυνση, με αποτέλεσμα να βραχύνονται τα σαρκομέρια και το συνολικό μήκος του μυός. Κατά την πλειομετρική ή έκκεντρη συστολή ο μυς επιμηκύνεται αντενεργώντας σε εξωτερική επιβάρυνση, που είναι πέρα από τη δύναμή του, προκαλώντας επιμήκυνση των σαρκομερίων και ολόκληρου του μυός παρόλο που η ακτίνη και η μυοσίνη βρίσκονται συνεχώς σε επαφή. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η πλειομετρική συστολή μπορεί να προκαλέσει βλάβη και τραυματισμό στα μυοϊνίδια, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζονται μεγάλα φορτία. Κατά την ισομετρική συστολή το συνολικό μήκος του μυός παραμένει σταθερό και αμετάβλητο, με αποτέλεσμα να μην αλλάζει η γωνία της άρθρωσης και να μην παρατηρείται εμφανής εξωτερική κίνηση. Παρόλα αυτά παράγεται δύναμη και δραστηριοποιείται ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών, οι οποίες αν και προσδεμένες στην ακτίνη, παραμένουν στην κανονική τους θέση, διότι η τάση που παράγουν είναι ίση με την εξωτερική αντίσταση (Κλεισούρας, 2011).

2.5 Μυϊκή κόπωση

Μυϊκός κάματος ορίζεται η ασκησιογενής μείωση της μέγιστης ικανότητας για παραγωγή δύναμης ή ισχύος (Vollestad, 1997). Περιγράφεται ευρέως ως η αδυναμία των μυών να διατηρήσουν την απαιτούμενη δύναμη για μια δεδομένη εργασία ή η μείωση της ικανότητας των μυών και με την πάροδο του χρόνου να ολοκληρώσουν μια εργασία σε σταθερό φορτίο. Η μυϊκή κόπωση είναι συνήθως μικρής διάρκειας, αναστρέψιμη και βιώνεται ως αίσθημα κόπωσης ή έλλειψης ενέργειας. Μπορεί να εμφανιστεί ξαφνικά ή να προκληθεί από πνευματική ή σωματική δραστηριότητα, υγρασία και οξεία μόλυνση. Η βραχεία κόπωση οφείλεται σε υπερβολική προπόνηση, υποπροπόνηση, μη αποκατάσταση ή σωματικό τραυματισμό. Αντίθετα, η επίμονη και πιο σοβαρή κόπωση οφείλεται σε παθολογικές καταστάσεις ή επέρχεται μετά από χρόνια έκθεση σε ορισμένα φάρμακα και τοξικές ουσίες. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα οι μυς να αισθάνονται ετοιμόρροποι και η δύναμη που παράγουν να είναι πάντα χαμηλή, με συνέπεια το άτομο να αισθάνεται συνεχώς αδύναμο.

Η μυϊκή κόπωση ταξινομείται σε δυο κατηγορίες ως εξής:

α) προσωρινή λόγω έντονων σωματικών δραστηριοτήτων και προκαλείται από συσσώρευση προϊόντων του μεταβολισμού στους μύς (π.χ. γαλακτικό) ή εξάντληση των πλούσιων σε ενέργεια ενώσεών τους. Ο προσωρινός μυϊκός πόνος παρατηρείται μετά από εξαντλητική προπόνηση, διαρκεί περίπου μέχρι 2 ώρες και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μέγιστης δύναμης. Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος παρατηρείται κυρίως μετά από πλειομετρική δράση των μυών και διαρκεί 3 έως 5 ημέρες. Αιτίες του καθυστερημένου πόνου είναι η βλάβη σαρκομερίων, το οίδημα και η φλεγμονώδης αντίδραση. Η μυϊκή βλάβη σηματοδοτεί τη φλεγμονώδη αντίδραση, που προκαλεί πόνο. Επακόλουθο της μυϊκής βλάβης είναι η αναγέννηση του μυϊκού ιστού. Η συνήθης παρέμβαση για την επιτάχυνση της αποκατάστασης των μυών περιλαμβάνει μασάζ, ψυχή συμπίεση και λήψη ελαφρών αναλγητικών. Ωστόσο, η μυϊκή κόπωση που διαρκεί περισσότερο από 2 εβδομάδες απαιτεί ιατρική φροντίδα.

β) χρόνια λόγω μυϊκής ατροφίας, μυϊκής ατροφίας με γήρανση (σαρκοπενία) ή νεκρογενής μυϊκής ατροφίας λόγω παρεμβολών διάδοσης του νευρικού σήματος από το ΚΝΣ στην πλάκα του κινητικού νευρώνα λόγω ασθένειας ή τραυματισμού της σπονδυλικής στήλης. (Constantin-Teodosiu & Constantin, 2021)

2.6 Είδη και μέτρηση μυϊκού κάματος

Διακρίνουμε δύο είδη μυϊκού κάματος, τον κεντρικό και τον περιφερικό, όπου η νευρομυϊκή σύναψη αποτελεί το διαχωριστικό τους σημείο.

Κεντρικός κάματος είναι η ασκησιογενής παρακμή της μυϊκής δύναμης και αναφέρεται στην αδυναμία μεταφοράς διεγερτικού σήματος από τον εγκέφαλο στον μυ. Μπορεί να οφείλεται σε μειωμένη πυροδότηση του εγκεφάλου ή σε αντανεκλαστική αναχαίτηση των κατερχομένων σημάτων.

Περιφερικός κάματος είναι η παρακμή της μυϊκής δύναμης ή ισχύος που επέρχεται παρά τη δραστηριοποίηση των κινητικών μονάδων και αναφέρεται στην αδυναμία ενεργοποίησης

του μυός αυτού καθαυτού. Μπορεί να οφείλεται σε αποτυχία μετάδοσης ενεργειακού δυναμικού, ατελή ζεύξη διέγερσης-συστολής, απενεργοποίηση εγκάρσιων γεφυρών, ανεπάρκεια μυϊκής ενέργειας και συσσώρευση μεταβολιτών στα μυϊκά κύτταρα (Κλεισούρας, 2011).

Η μέτρηση του μυϊκού κάματος γίνεται είτε άμεσα μετρώντας τη μυϊκή δύναμη ή τη μυϊκή ισχύ, είτε έμμεσα μετρώντας την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα. Η μέγιστη εκούσια ισομετρική δύναμη ή υπομέγιστες επαναλαμβανόμενες μειομετρικές συστολές χρησιμοποιούνται ως κριτήρια μέτρησης του καμάτου. Η ηλεκτρομυογραφία μπορεί να χρησιμεύσει ως δείκτης καμάτου μόνο κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες ισομετρικής δράσης των μυών. Για την μέτρηση του καμάτου, η μυϊκή ισχύς προσδιορίζεται με υπερμέγιστη βραχύβια προσπάθεια σε κυκλοεργόμετρο ή ισοκινητικό δυναμόμετρο. Καματογόνο επίδραση έχουν η κατανομή των μυϊκών ινών, η στατική άσκηση, οι χειρωνακτικές εργασίες, το θερμό περιβάλλον, το φύλο και οι ελεύθερες ρίζες. Σε άσκηση έντασης έως 40% VO₂max επιστρατεύονται οι ανθεκτικές στον κάματο ίνες τύπου I, από 40 έως 75% VO₂max οι ημι-ανθεκτικές στον κάματο τύπου IIa και από 75% VO₂max οι ευάλωτες στον κάματο τύπου IIx (Κλεισούρας, 2011).

2.7 Αξιολόγηση αναερόβιας ικανότητας

Αναερόβια ισχύς είναι η κορύφωση της μηχανικής ισχύος που επιτυγχάνεται στη μέγιστη προσπάθεια του αθλούμενου. Εκφράζεται σε watt και μετριέται στα πρώτα 3-5 δευτερόλεπτα της δοκιμασίας.

Αναερόβια ικανότητα είναι η μέτρηση της μηχανικής ισχύος που παράγεται και μετριέται καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμασίας (Κλεισούρας, 2011).

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι αξιολόγησης της μέγιστης ισχύος και της αναερόβιας ικανότητας. Αρκετές δοκιμές μπορούν να αξιολογήσουν τη μέγιστη ισχύ ενός αθλητή (ένα μέτρο της μυϊκής δύναμης και ταχύτητας), την αναερόβια ικανότητα ή και τα δύο. Αυτές οι δοκιμές περιλαμβάνουν τη δοκιμή κατακόρυφου άλματος, τη δοκιμή άλματος εις μήκος, τα επαναλαμβανόμενα άλματα Bosco και το Wingate test.

2.7.1 Εγκυρότητα και Αξιοπιστία Δοκιμασίας Αναερόβιας Κόπωσης (Wingate Test)

Το Wingate Test συγκρίθηκε με αθλητικές επιδόσεις και εργαστηριακά ευρήματα για να επαληθευτεί η εγκυρότητά του ως πρωτόκολλο δοκιμασίας, αναερόβιας ικανότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι έγκυρος και ακριβής δείκτης των παραμέτρων αυτών (Bar-Or, 1987). Έτσι, η δοκιμασία Wingate Test μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έγκυρος και αξιόπιστος προγνωστικός δείκτης αναερόβιας ικανότητας και δείκτης υπολογισμού ισχύος.

2.8 Αναερόβια δοκιμασία Wingate

Η δοκιμασία Wingate αποτελεί μία από τις πιο αξιόπιστες δοκιμασίες αναερόβιας ικανότητας. Συνιστάται σε κυκλοεργόμετρο όπου ο ασκούμενος ποδηλατεί 30 δευτερόλεπτα στη μέγιστη ταχύτητα, με σταθερή επιβάρυνση. Η επιβάρυνση κατά την δοκιμασία είναι το 7,5% της μάζας σώματος του αθλούμενου ή 0,075kg ανά kg σωματικού βάρους (Κλεισούρας, 2011)

Η μέτρηση Wingate εξετάζει την αναερόβια ικανότητα του δοκιμαζόμενου και την αναερόβια ισχύ του. Η δοκιμασία χωρίζεται σε 3 μέρη:

1. Προθέρμανση: Ο συμμετέχων κάνει ποδήλατο με 60 στροφές ανά λεπτό (RPM) για 3-4 λεπτά στα 60W (γυναίκες) ή 90W (άντρες). Οι γυναίκες με αντίσταση 1 κιλό και οι άνδρες με 1,5 κιλό και το καλάθι που ζυγίζει συνήθως 1 κιλό. Στα μισά της προθέρμανσης, ο συμμετέχων σταματάει για λίγο το ποδήλατο και ο διαχειριστής της δοκιμής προσθέτει το βάρος της δοκιμής. Μόλις προστεθεί το βάρος, ο διαχειριστής σηκώνει το καλάθι μακριά από τον σφόνδυλο, ώστε ο συμμετέχων να μπορεί να συνεχίσει να κάνει ποδήλατο στις 60 στροφές ανά λεπτό, χωρίς αντίσταση. Με την αντίσταση να είναι ακόμα ανυψωμένη πάνω από τον σφόνδυλο, θα πρέπει να ξεκινήσει μια αντίστροφη μέτρηση 3 δευτερολέπτων. Ο διαχειριστής του τεστ μετράει αντίστροφα και χαμηλώνει το καλάθι βάρους δοκιμής. Μόλις κατέβει το καλάθι, ο συμμετέχων επιταχύνει από τις 60 στροφές ανά λεπτό στη μέγιστη δυνατή ταχύτητα για περίπου τρία δευτερόλεπτα. Μετά από αυτά τα δευτερόλεπτα και όταν η ταχύτητα του πετάλι είναι ακόμα υψηλή, οι διαχειριστές θα πρέπει να φωνάξουν ξεκάθαρα «STOP» και να αφαιρέσουν το δοκιμαστικό βάρος, ώστε ο αθλητής να συνεχίσει την ποδη-

λασία χωρίς το δοκιμαστικό βάρος για ένα ακόμη λεπτό περίπου. Αφού ολοκληρωθεί η προθέρμανση των 4 λεπτών, ο δοκιμαζόμενος πρέπει να ξεκουραστεί για δύο λεπτά πριν εκτελέσει τη δοκιμή σπριντ.

2. Κύριο μέρος δοκιμής: Ο συμμετέχων αρχίζει να κάνει ποδήλατο στις 60 στροφές ανά λεπτό για περίπου 10 δευτερόλεπτα χωρίς βάρος. Ο διαχειριστής μετράει αντίστροφα και ο δοκιμαζόμενος ξεκινάει την επιτάχυνση. Στην έναρξη του σπριντ ο διαχειριστής πρέπει να χαμηλώσει το καλάθι βάρους της δοκιμής και ο συμμετέχων αρχίζει να επιταχύνει στο μέγιστο και προσπαθεί να διατηρήσει τη μέγιστη ταχύτητα καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής των 30 δευτερολέπτων.

Σημείωση: Οι διαχειριστές του τεστ πρέπει να παρέχουν προφορική ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας. (Walker,2024) Το υψηλότερο επίπεδο ισχύος που επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής είναι συνήθως μέσα στα πρώτα 10 δευτερόλεπτα, εάν η δοκιμή εκτελεστεί σωστά. (Castañeda-Babarro, 2021).

Αποθεραπεία: Για να μειωθούν τυχόν προβλήματα, οι δοκιμαζόμενοι πρέπει να παραμείνουν στο κυκλοεργόμετρο κάνοντας ποδήλατο στις 60-80 στροφές ανά λεπτό χωρίς αντίσταση, για τουλάχιστον 2-3 λεπτά. (Walker,2024)

2.8.1 Power Output

Όλες οι μεταβλητές ισχύος εκφράζονται σε watt. Η PP προσδιορίζεται ως η μέγιστη ένδειξη ισχύος για μια αναφερόμενη περίοδο 1 δευτερολέπτου. Η τιμή MP προσδιορίζεται ως η χαμηλότερη ένδειξη ισχύος για μια αναφερόμενη περίοδο 1 δευτερολέπτου. Η AP προκύπτει διαιρώντας το άθροισμα όλων των τιμών ισχύος για κάθε δευτερόλεπτο από τα 30 της δοκιμασίας. Η PD, εκφρασμένη ως ποσοστό, προκύπτει διαιρώντας τη διαφορά μεταξύ PP και MP με την PP και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας αυτόν τον αριθμό με το 100: $[(PP - MP) / PP] \times 100$. Το συνολικό έργο (PW) προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την αντίσταση σε Newton (π.χ. αντίσταση σε κιλά πολλαπλασιασμένη επί 9,81) με την απόσταση που καλύπτεται σε μέτρα (ισχύς 1 δευτερολέπτου διαιρούμενη με την απόλυτη ισχύ σε watt). Το PW εκφράζεται σε kilojoules (KJ) (Wilson et al., 2009).

Τιμές που αναφέρονται στα Δεδομένα του Wingate Test

- $BW (kg) = 7.5\%$ του ΣΒ του δοκιμαζόμενου
- $PP(W) =$ μέγιστη ισχύς σε Watt
- $PP(W/kg) =$ Μέγιστη Ισχύς/ κιλό ΣΒ
- $tPP (ms) =$ (time to reach Peak Ppower) χρόνος μέχρι την παραγωγή μέγιστης ισχύος
- $AP (W) =$ Average Power – Μέση Ισχύς (watt) (το σύνολο των τιμών για τα 30 δευτερόλεπτα)
- $AP (W/kg) =$ Μέση Ισχύς W/kg
- $MP (W) =$ minimum power – η τιμή της ελάχιστης ισχύος που αναγράφηκε για 1 δευτερόλεπτο
- $MP (W/kg) =$ minimum power/kg
- $PD (W) =$ Power Decline – ο ρυθμός μείωσης της ισχύος – Fadigue Index
- $PD (W/kg) =$ power decline w/kg
- $PD (W/s) =$ power decline w/s
- $PD (W/s/kg) =$ power decline w/s/kg
- $PD (\%) = [(PP - MP)/PP] \times 100$
- $PW (J) =$ αντίσταση σε κιλά * 9.81 * απόσταση που διανύεται (σε J)
- $V_{max} (rpm) =$ η μέγιστη ταχύτητα σε περιστροφές (rpm)
- $P V_{max} (W) =$ η ισχύς στη μέγιστη ταχύτητα σε watt
- $T V_{max} (ms) =$ ο χρόνος μέχρι την μέγιστη ταχύτητα

2.8.2 Τι μετράει το Wingate Anaerobic Test;

Οι ακόλουθες τιμές μπορούν να ληφθούν από τη δοκιμασία αναερόβιας κόπωσης σε εργόμετρο (Wingate Anaerobic Test).

- Μέγιστη Ισχύς Εξόδου- Peak Power Output (PPO)
- Σχετική Μέγιστη Ισχύς Εξόδου - Relative Peak Power Output (RPP)
- Αναερόβια Κόπωση/ Δείκτης Κόπωσης - Anaerobic Fatigue/ Fatigue Index (AF)
- Αναερόβια Ικανότητα - Anaerobic Capacity (AC)

2.8.3 Υπολογισμός Μέγιστης Ισχύος Εξόδου

Η Μέγιστη Ισχύς Εξόδου πρέπει να υπολογίζεται κάθε πέντε δευτερόλεπτα της δοκιμασίας παρέχοντας συνολικά 6 τιμές μέγιστης ισχύος εξόδου (6 PPOs).

- $PPO = \text{δύναμη (kg)} * \text{απόσταση (m)} \div \text{χρόνος (s)}$

Δύναμη: το βάρος που προστίθεται στο καλάθι αντίστασης σε κιλά.

Απόσταση = αριθμός των περιστροφών κατά τη διάρκεια των 5 δευτερολέπτων * απόσταση ανά περιστροφή (m)

Χρόνος: Μετριέται σε δευτερόλεπτα ή (πέντε δευτερόλεπτα ή 0.0833 λεπτά).

Απόσταση: Ο αριθμός των περιστροφών πολλαπλασιασμένος με την απόσταση ανά περιστροφή (μετριέται σε μέτρα)

2.8.4 Υπολογισμός Αναερόβιας Κόπωσης/ Δείκτη Αναερόβιας Κόπωσης

Ο δείκτης αναερόβιας κόπωσης δείχνει την τιμή επί τοις εκατό της απολεσθείσας ισχύος από την αρχή έως το τέλος της δοκιμασίας.

- $AF = ((\text{μέγιστη ισχύς} - \text{χαμηλότερη ισχύς}) \div (\text{μέγιστη ισχύς})) * 100$

2.8.5 Υπολογισμός Αναερόβιας Ικανότητας (AC)

Η Αναερόβια Ικανότητα είναι το συνολικό έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας.

- $AC = \text{Σύνολο τιμών 5-δευτερολέπτων PPO}$

2.9 Εγκεφαλική οξυγόνωση

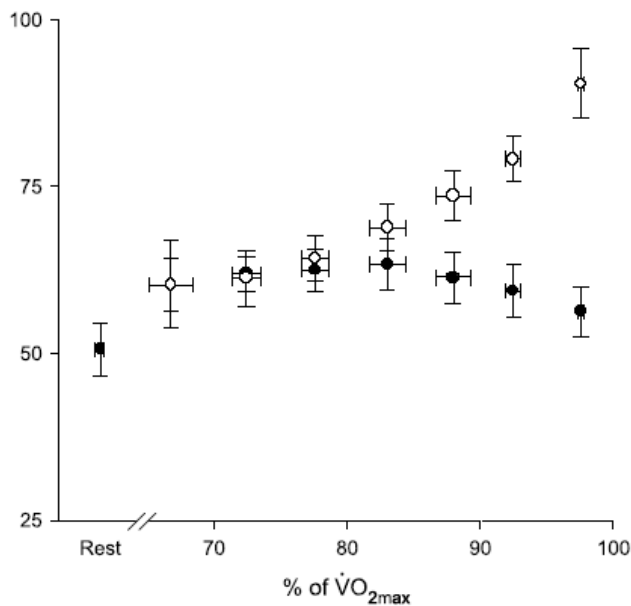
Κατά την διάρκεια της άσκησης η ζήτηση για οξυγόνο τόσο στον εγκέφαλο όσο και στους σκελετικούς μύες αυξάνεται προκαλώντας ένα έλλειμμα γνωστό ως αποξυγόνωση. (Hei et al., 2018). Ένας από τους παράγοντες που ερευνώνται σχετικά με τον εγκέφαλο κατά την διάρκεια της άσκησης είναι η ροή αίματος στον εγκέφαλο. Η κύρια λειτουργία της εγκεφαλικής κυκλοφορίας είναι να εξασφαλίζει ομοιόσταση στον εγκέφαλο παρέχοντας οξυγόνο

για τη μιτοχονδριακή αναπνοή και την απομάκρυνση των αποβλήτων από τον εγκεφαλικό μεταβολισμό. Η εγκεφαλική ροή αίματος κατανέμεται ετερογενώς και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη νευρωνική δραστηριότητα στις διάφορες περιοχές του εγκεφάλου. (Nybo & Rasmussen, 2007)

Το οξυγόνο μεταφέρεται από τα πνευμονικά τριχοειδή στα οστικά μέσω των αρτηριών. Η ποσότητα που μπορεί να μεταφερθεί εξαρτάται από την συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης στο αίμα. (Κλεισούρας, 2011)

Η αύξηση της οξυαιμοσφαιρίνης [HbO₂] και η μείωση αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης [HHb] είναι ενδείξεις διαθεσιμότητας οξυγόνου, ενώ η μείωση της οξυαιμοσφαιρίνης [HbO₂] και η αύξηση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης [HHb] υποδεικνύουν την κατανάλωση οξυγόνου στον τοπικό μυ. Για παράδειγμα, η χαμηλότερη διαθεσιμότητα O₂ έχει θεωρηθεί ενδεικτική της μειωμένης καρδιακής παροχής και της μυϊκής ροής αίματος. (Orcioli-Silva et al., 2024).

Η δυναμική άσκηση σχετίζεται με την ενεργοποίηση πολλών περιοχών του εγκεφάλου και όταν η ένταση δεν υπερβαίνει το όριο του αερισμού, η ροή σε αυτές τις ενεργοποιημένες περιοχές θα αυξάνεται γραμμικά με την ένταση της άσκησης. Όταν η ένταση υπερβαίνει το όριο του αερισμού, τόσο η συνολική όσο και η περιφερειακή εγκεφαλική ροή αίματος μειώνονται, καθώς μειώνεται η μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 2.2 Ταχύτητα ροής αίματος στη μέση εγκεφαλική αρτηρία κατά τη διάρκεια σταδιακής άσκησης, με (ανοιχτά σύμβολα) και χωρίς (συμπαγή σύμβολα) «ρυθμίσεις» για την αρτηριακή τάση διοξειδίου του άνθρακα. Δεδομένα 7 ατόμων. (Nybo & Rasmussen, 2007)

Έτσι η εγκεφαλική αιμοδυναμική μεταβάλλεται, ανάλογα με την ένταση της άσκησης (Nybo & Rasmussen, 2007). Παρατηρήθηκε ότι η οξυγόνωση του εγκεφάλου ακολουθεί μια τάση στην οποία από χαμηλές έως μέτριας έντασης άσκηση η ροή του οξυγόνου αυξάνεται, ενώ από μέτρια έως υψηλής έντασης άσκηση μειώνεται (Rooks et al., 2010).

Επιπλέον μεταξύ εφήβων και ηλικιωμένων, μετρήθηκε η εγκεφαλική οξυγόνωση κατά τη διάρκεια δυναμικής άσκησης χαμηλής έως μέτριας έντασης και παρατηρήθηκε ότι αυξάνεται η εγκεφαλική αιμάτωση κατά 10-30%. Η εγκεφαλική αιμάτωση είναι χαμηλότερη στα ηλικιωμένα άτομα, τόσο σε κατάσταση ηρεμίας όσο και κατά τη διάρκεια της σταδιακής δυναμικής άσκησης. Ωστόσο, η αύξηση στον εκτιμώμενο εγκεφαλικό μεταβολικό ρυθμό για το οξυγόνο και οι διαφορές αρτηριακής-εσωτερικής σφαγίτιδας φλέβας για τη γλυκόζη και το γαλακτικό είναι παρόμοιες σε νεαρά και μεγαλύτερα άτομα που ασκούνται με τις ίδιες σχετικές εντάσεις άσκησης. Συνοπτικά, οι σχετιζόμενες με την ηλικία μειώσεις της εγκεφαλικής αιμάτωσης κατά τη διάρκεια της άσκησης συνδέονται εν μέρει με χαμηλότερη μερική αρτηριακή πίεση διοξειδίου του άνθρακα σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας που ασκούνται (Braz & Fisher, 2016).

Μελετήθηκε η επίδραση της εγκεφαλικής οξυγόνωσης σε επαναλαμβανόμενα σπριντ ποδηλάτου 10 δευτερολέπτων, σε νορμοξικές και οξείας υποξίας συνθήκες. Σε σύγκριση με τη νορμοξία, η υποξία προκάλεσε μεγαλύτερες μειώσεις στον αρτηριακό κορεσμό οξυγόνου. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης με την χρήση της συσκευής NIRS δείχνουν ότι η διαθεσιμότητα του οξυγόνου επηρεάζει την οξυγόνωση του προμετωπιαίου φλοιού, αλλά όχι των μυών στη διάρκεια επαναλαμβανόμενων σπριντ. (Smith & Billaut, 2010)

Κατά την διάρκεια ισομετρικών συσπάσεων του δικέφαλου βραχιόνιου σε ένταση 20, 40 και 60% διαπιστώθηκε ότι οι αυξήσεις της οξυαιμοσφαιρίνης και της συνολικής δεοξυαιμοσφαιρίνης ήταν δυσανάλογα μεγαλύτερες, σε σχέση με την έξοδο δύναμης, στο 60% της έντασης. Αυτή η δυσανάλογη αυξημένη προμετωπιαία ενεργοποίηση και η ροή του αίματος μπορεί να οφείλεται στη μειωμένη αποτελεσματικότητα κατά τη διάρκεια συστολών υψηλής έντασης. Η οπτική παρακολούθηση, έδειξε ότι τα υποκείμενα άρχισαν να στρατολογούν βοηθητικούς μυς, όπως οι μύες του κορμού και των ώμων, για να διατηρήσουν τη δύναμη στόχο για αυτή την ένταση. Αυτό θα οδηγούσε σε πρόσθετη νευρωνική ενεργοποίηση, η οποία μπορεί να ευθύνεται για την υπερβολική αύξηση της εγκεφαλικής HbO₂ που παρατηρείται στο 60% MVC. (Bhambhani et al., 2014)

2.10 Συσκευή NIRS INVOS

Η φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIRS) είναι μια μη επεμβατική μέθοδος παρακολούθησης που μετρά την περιφερειακή οξυγόνωση των ιστών και μπορεί να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για εξασθενημένη αιμάτωση ιστού, πριν από την κλινική παρουσίαση ή την αύξηση των βιοδεικτών. Αυτό μπορεί να προσφέρει την ευκαιρία να βελτιωθούν τα αποτελέσματα των ασθενών σε μια ποικιλία διαφορετικών κλινικών καταστάσεων. Τα στοιχεία για τη χρήση του πέρα από την καρδιοχειρουργική αναδύονται συνεχώς (Tosh & Petteril, 2016). Ο εξοπλισμός NIRS παρέχει πληροφορίες σχετικά με την περιφερειακή αιμάτωση των ιστών ανάλογα με τη θέση του ανιχνευτή, ενώ ο κορεσμός του φλεβικού αίματος (SvO₂) μας ενημερώνει για τη συνολική αιμάτωση του σώματος. Το NIRS παρέχει συνεχή, μη επεμβατική παρακολούθηση του περιφερειακού κορεσμού οξυγόνου ιστού

(%rSO₂), παρέχοντας επομένως μια ένδειξη της ισορροπίας μεταξύ της τοπικής παροχής οξυγόνου ιστού και της εξαγωγής. Η «τιμή NIRS» εκφράζεται ως % (rSO₂) και αντικατοπτρίζει την ποσότητα αιμοσφαιρίνης που παραμένει κορεσμένη μετά τη διέλευση από την τοπική κλίνη ιστού.

Επιπλέον η χρήση του NIRS βοηθάει στην κατανόηση της αποτελεσματικότητας του μυϊκού συστήματος στην παροχή και χρήση οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης. Για παράδειγμα, η χαμηλότερη διαθεσιμότητα οξυγόνου έχει θεωρηθεί ενδεικτική της μειωμένης καρδιακής παροχής και της μυϊκής ροής αίματος. Η τεχνολογία NIRS επέτρεψε την ταυτόχρονη μέτρηση της οξυγόνωσης τόσο των εγκεφαλικών όσο και των σκελετικών μυών. Η συγχρονισμένη ανάλυση αυτών των συστημάτων διευκολύνει την πλήρη κατανόηση της ροής του αίματος κατά τη διάρκεια των συνεδριών άσκησης, ενισχύοντας τις γνώσεις μας σχετικά με τους πιθανούς μηχανισμούς για το πώς οι μύες και ο εγκέφαλος αντιμετωπίζουν τη ζήτηση οξυγόνου και την ευρύτερη ισορροπία μεταξύ παροχής και χρήσης του. (Orcioli-Silva et al.,2024).

Το INVOS™ είναι μια συσκευή παρακολούθησης κορεσμού οξυγόνου του εγκεφάλου με φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας. Παρέχει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των αλλαγών στον περιφερειακό κορεσμό οξυγόνου (rSO₂) του αίματος στον εγκέφαλο ή σε άλλους ιστούς του σώματος κάτω από τον αισθητήρα για αποτελεσματική παρακολούθηση του οξυγόνου στους ασθενείς. Το σύστημα INVOS™ χρησιμοποιεί εγγύς υπέρυθρο φως σε μήκη κύματος που απορροφώνται από την αιμοσφαιρίνη (730 και 810 nm). Το φως ταξιδεύει από τη δίοδο εκπομπής φωτός του αισθητήρα σε έναν εγγύς ή απομακρυσμένο ανιχνευτή, επιτρέποντας τη χωριστή επεξεργασία δεδομένων ρηχών και βαθιών οπτικών σημάτων.

Η τεχνολογία συστήματος INVOS™ σας δίνει ένα μη επεμβατικό «παράθυρο» στη μικροαγγείωση του σώματος, μια άμεση και δυναμική τοποθεσία ανταλλαγής αερίων που μεταφέρει περίπου το μισό όγκο αίματος του σώματος. Η μέτρηση της οξυγόνωσης του αίματος στο μικροαγγειακό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα ειδικές για το σημείο πληροφορίες σχετικά με την επάρκεια αιμάτωσης ή την κατανομή της αιμάτωσης στον εγκέφαλο και το σώμα.

Σε αντίθεση με τις παραμέτρους που μετρούν μόνο το φλεβικό ή το αρτηριακό αίμα, η τεχνολογία INVOS™ περιλαμβάνει συνεισφορές και από τις δύο. Αυτό παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την ισορροπία ή την ανισορροπία της προσφοράς και της ζήτησης οξυγόνου, αντανακλώντας έτσι το φλεβικό απόθεμα οξυγόνου (το οξυγόνο που παραμένει μετά την εξαγωγή από ιστούς και ζωτικά όργανα). Η ικανότητα του συστήματος INVOS™ να εντοπίζει την περιοχή μέτρησης, που ονομάζεται χωρική ανάλυση, έχει επικυρωθεί εμπειρικά σε ανθρώπους.

Τα δεδομένα από το τριχωτό της κεφαλής και τον επιφανειακό ιστό αφαιρούνται και καταστέλλονται, αντανακλώντας το rSO₂ σε βαθύτερους ιστούς. Αυτή η ίδια ιδέα ισχύει για τη σωματική παρακολούθηση. Τα αξιόπιστα και επικυρωμένα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν:

- Ακριβή τιμή που βασίζεται σε καλή συσχέτιση με τον κορεσμό πεδίου (75% φλεβική προς 25% αρτηριακή αναλογία)
- Βέλτιστη απόσταση αισθητήρα 3 και 4 εκατοστά. Το φυσιολογικό εύρος του εγκεφάλου είναι 58-82 βαθμοί. Το όριο παρέμβασης είναι όταν υπάρχει μια αλλαγή 20% από την αρχική γραμμή βάσης ή όταν η πραγματική τιμή που εμφανίζεται είναι κάτω από 50 μονάδες. Ένα κρίσιμο όριο είναι όταν η τιμή πέφτει 25% από τη γραμμή βάσης ή υπάρχει μια πραγματική τιμή κάτω από 40. Η οθόνη υπολογίζει και εμφανίζει αυτό το ποσοστό πτώσης από τη γραμμή βάσης, μόλις η γραμμή βάσης έχει οριστεί.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δείγμα

Σκοπός της μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της αναερόβιας κόπωσης στην εγκεφαλική και τη μυϊκή οξυγόνωση σε υγιείς άντρες και έφηβους αθλητές ποδηλασίας, ηλικίας 16 έως 28 ετών.

Συγκεκριμένα, 10 έφηβοι ποδηλάτες και 12 ενήλικες συμμετείχαν ως δοκιμαζόμενοι στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Οι αθλητές προέρχονταν από Αθλητικά Σωματεία της Αττικής.

3.2 Πρωτόκολλο πειράματος και πειραματική διαδικασία

Πριν από την πραγματοποίηση της δοκιμασίας αναερόβιας κόπωσης, λήφθηκε από κάθε δοκιμαζόμενο το ύψος και το βάρος του με τη χρήση επαγγελματικής ζυγαριάς (Seca 700). Επιπλέον, μοιράστηκαν σε όλους τους συμμετέχοντες ερωτηματολόγια υγείας αλλά και το έντυπο συγκατάθεσης κατόπιν ενημέρωσης του δοκιμαζόμενου για συμμετοχή στην έρευνα.

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη σε δύο συναντήσεις για κάθε δοκιμαζόμενο. Ακολούθως οι δοκιμαζόμενοι υπεβλήθησαν σε δοκιμασία αναερόβιας μυϊκής κόπωσης (Wingate Test) 30 δευτερολέπτων. Πριν την έναρξη της δοκιμασίας έγινε τοποθέτηση 2 αισθητήρων του INVOS™ 5100C Cerebral/Somatic Oximeter στον μετωπιαίο λοβό και 2 ακόμα στον έξω πλατύ μυ αμφοτερόπλευρα, στη μεσότητα του μηρού. Το ύψος της σέλας του ποδηλάτου ρυθμίστηκε έτσι ώστε να μην υπάρχουν περισσότερες από 5 μοίρες κάμψης του γόνατος όταν το πόδι ήταν πλήρως τεντωμένο.

Εν συνεχεία τοποθετήθηκε συσκευή μέτρησης της καρδιακής συχνότητας και λήφθηκε η καρδιακή συχνότητα ηρεμίας, η αρτηριακή πίεση και ο κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα με την χρήση οξύμετρου δακτύλου.

Πριν τη δοκιμασία μέτρησης αναερόβιας κόπωσης (Wingate) πραγματοποιήθηκε προθέρμανση με ελεύθερη ποδηλάτηση πέντε λεπτών με 2 κιλά βάρος καλαθιού, και έπειτα ποδηλάτηση μέγιστης έντασης 3 δευτερολέπτων για εξοικείωση, με την ίδια αντίσταση. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε αντίσταση στον σφόνδυλο αντίστασης ίση με το 7,5% του σωματικού βάρους του δοκιμαζόμενου. Η δοκιμασία είχε διάρκεια 30 δευτερόλεπτα με ποδηλάτηση στη μέγιστη ταχύτητα στο Monark 894 E. Για τον κάθε δοκιμαζόμενο υπήρξε μία φάση αντίστροφης μέτρησης 10 δευτερολέπτων πριν την έναρξη της δοκιμασίας, η φάση ποδηλάτησης σε μέγιστη ένταση για 30 δευτερόλεπτα και μια φάση ενεργητικής αποκατάστασης μετά το πέρας της δοκιμασίας όπου ο δοκιμαζόμενος ποδηλάτησε για μερικά λεπτά χωρίς

αντίσταση και έπειτα βρισκόταν σε ηρεμία και καθιστή θέση μέχρι οι τιμές της αιμάτωσης να επανέλθουν στο αρχικό τους σημείο.

Η μέγιστη ισχύς και η αναερόβια ικανότητα σε απόλυτες τιμές (W) και σε σχέση με το σωματικό βάρος (W/kg) προσδιορίστηκαν για την δοκιμασία αναερόβιας κόπωσης (Wingate Test). Τα δεδομένα αναλύθηκαν και ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας περιγραφική στατιστική (Πίνακας 4.3).

3.3 Δοκιμαζόμενοι

Εξετάστηκαν 10 έφηβοι ποδηλάτες μέσης ηλικίας 16,67 ετών και συγκρίθηκαν με 12 ενήλικους ποδηλάτες μέσης ηλικίας 26,1 ετών. Όλοι οι εξεταζόμενοι ήταν υγιείς, αθλητές ποδηλασίας, οι οποίοι προπονούσαν καθημερινά και βρίσκονταν σε αγωνιστικό επίπεδο.



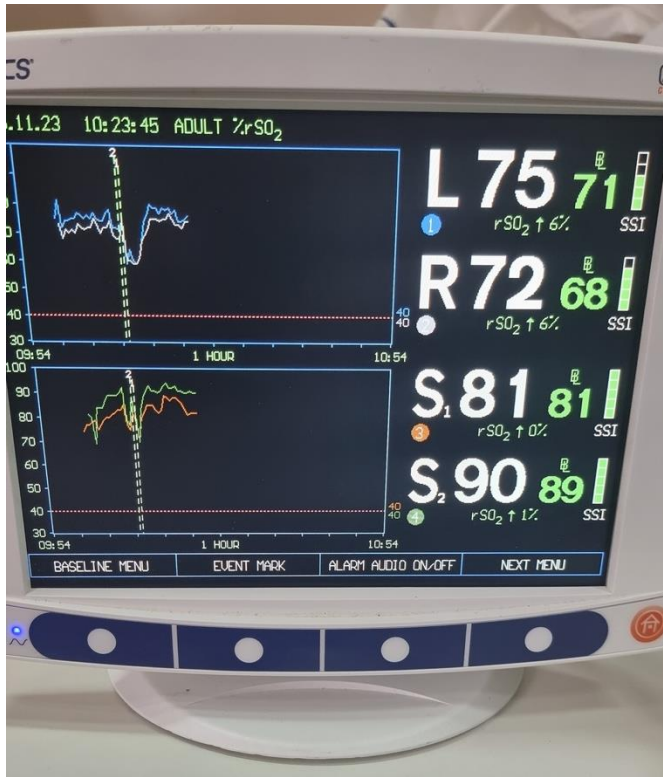
Εικόνα 3.1 Το κυκλοεργόμετρο Monark 894 E που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη μας.



Εικόνα 3.2 Σε κάθε δοκιμαζόμενο χρησιμοποιήθηκαν 2 ηλεκτρόδια της συσκευής ιννος, τα οποία τοποθετήθηκαν στη μεσότητα του έξω πλατέως μνός αμφοτερόπλευρα.



Εικόνα 3.3 Σε κάθε δοκιμαζόμενο τοποθετήθηκαν επίσης 2 ηλεκτρόδια της συσκευής innos αντίστοιχα με τους μετωπιαίους λοβούς



Εικόνα 3.4 Με την συσκευή Invos γίνεται καταγραφή σε πραγματικό χρόνο της ιστικής αγγείωσης του εγκεφάλου και των τετρακεφάλων μυών.



Εικόνα 3.5 Οι αισθητήρες της συσκευής Invos.



Εικόνα 3.6 Ένας έφηβος ποδηλάτης κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης

3.4 Στατιστική Ανάλυση

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS version 29.0. Ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας τέθηκε το $p < 0.05$.

Οι παράμετροι της εγκεφαλικής και της μυϊκής οξυγόνωσης εξετάστηκαν στατιστικά με την δοκιμασία t κατά ζεύγη. Οι παράμετροι του έργου που ελήφθησαν από το κυκλοεργόμετρο συγκρίθηκαν με δοκιμασία t για ανεξάρτητα δείγματα. Η κανονικότητα της κατανομής ελέγχθηκε με την δοκιμασία Kolmogorov-Smirnov.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της μελέτης, όσον αφορά την εγκεφαλική και μυϊκή οξυγόνωση αλλά και το παραχθέν έργο στη δοκιμασία wingate παρουσιάζονται στους πίνακες 4.1, 4.2.

Πίνακας 4.1 Η μεταβολή της εγκεφαλικής οξυγόνωσης.

	Εγκεφα- λική οξυγό- νωση αρ- χικά, μέση τιμή	p	Εγκεφαλική οξυγό- νωση χαμηλότερη τιμή, μέση τιμή	p	Χρονική στιγμή μικρότερης τιμής, sec, μέση τιμή	p
Έφηβοι	68,7±8,47	0,936	34,1±10,87	0,327	45,9±3,29	0,10
Ενήλι- κες	74,5±7,53		37,5±14,54		49,4±5,21	

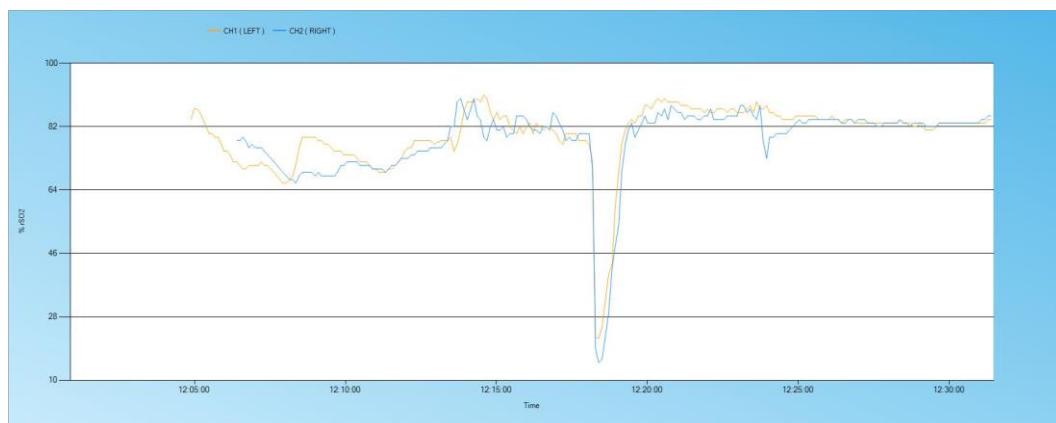
Πίνακας 4.2 Η μεταβολή της μυϊκής οξυγόνωσης.

	Μυϊκή οξυγόνωση αρχικά, μέση τιμή	p	Μυϊκή οξυγόνωση χαμηλότερη τιμή, μέση τιμή	p	Χρονική στιγμή μικρότερης τιμής, sec, μέση τιμή	p
Έφηβοι	77,3±15,55	0,361	17,9±12,70	0,602	21,3±5,42	0,51
Ενήλικες	72,5±9,98		15,5±14,53		19,5±3,18	

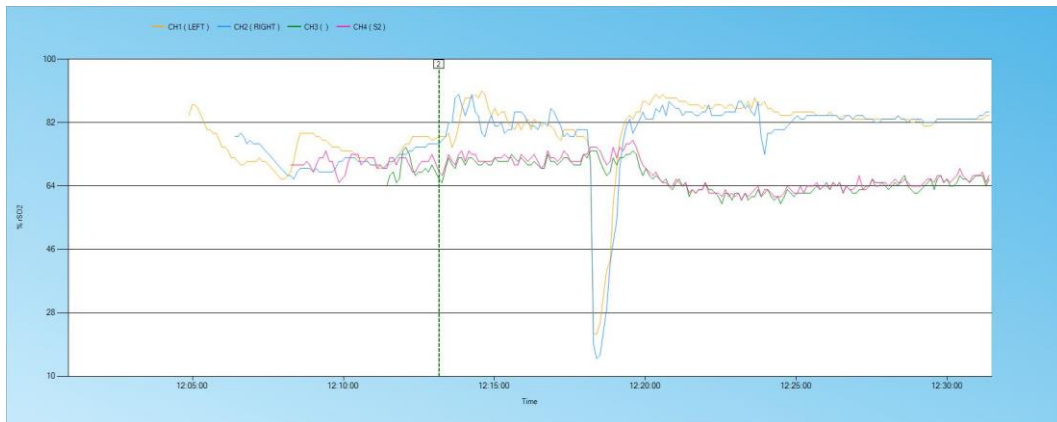
Όσον αφορά τις παραμέτρους της δοκιμασίας wingate η παράμετρος W ήταν, σε εφήβους και ενήλικες αντίστοιχα, 1086.0690±495.493 και 1226.7742±383.568, η παράμετρος Wkg 15.6520±4.077 και 17.4250±5.326 και η παράμετρος Pd% 61.1570±16.33 και 64.4942±8.246, αντίστοιχα. Όλες οι παράμετροι ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες στους ενήλικες αθλητές αντίστοιχα (p αντίστοιχα 0,04, 0,031, 0,044).

Η αρχική εγκεφαλική και μυϊκή οξυγόνωση δεν διέφερε μεταξύ των δύο ομάδων. Απουσία διαφοράς διαπιστώθηκε και μετά το πέρας της άσκησης. Η μυϊκή και η εγκεφαλική οξυγόνωση μειώθηκαν σημαντικά. Η διαφορά που παρατηρήθηκε ήταν ότι η μυϊκή οξυγόνωση μειώθηκε σύντομα μετά την έναρξη της άσκησης ενώ η εγκεφαλική οξυγόνωση μειώθηκε καθυστερημένα, μετά το πέρας της άσκησης.

Διάγραμμα 4.1 Απεικόνιση της αργείωσης του εγκεφάλου αμφοτερόπλευρα.



Διάγραμμα 4.2 Απεικόνιση της αγγείωσης του τετρακεφάλου μυός αμφοτερόπλευρα.



ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη της επίδρασης της κόπωσης μετά από άσκηση υψηλής έντασης στην εγκεφαλική και μυϊκή οξυγόνωση σε έφηβους και ενήλικες ποδηλάτες.

Πραγματοποιήθηκε λοιπόν μια δοκιμασία στην οποία οι συμμετέχοντες έπρεπε να ποδηλατήσουν για 30 δευτερόλεπτα μέχρι την εξάντληση. Με τη βοήθεια της συσκευής NIRS Invos παρατηρήθηκε η μεταβολή στα επίπεδα του εγκεφαλικού και μυϊκού οξυγόνου κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμασίας και καταγράφηκαν οι τιμές του οξυγόνου σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμασίας

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των μετρήσεων έδειξαν ότι δεν υπάρχει σημαντικά στατιστική διαφορά στην εγκεφαλική και την μυϊκή οξυγόνωση, αλλά και στις παραμέτρους της δοκιμασίας wingate μεταξύ εφήβων και ενήλικων ποδηλατών. Η διαφορά που παρατηρήθηκε ήταν ότι η μυϊκή οξυγόνωση μειώθηκε σύντομα μετά την έναρξη της άσκησης ενώ η εγκεφαλική οξυγόνωση μειώθηκε καθυστερημένα, μετά το πέρας της άσκησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο μέγιστη αναερόβια δοκιμασία κόπωσης προκαλεί σημαντική μείωση τόσο στην εγκεφαλική, όσο και στην μυϊκή οξυγόνωση και μάλιστα με συμμετρικό τρόπο και στις δύο πλευρές του εγκεφάλου, αλλά και των μυών.

Η μυϊκή ανταπόκριση είναι σχετικά άμεση, ενώ η εγκεφαλική ανταπόκριση όψιμη, μετά το πέρας της δοκιμασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Exeter, D., & Connell, D. A. (2010). Skeletal muscle: functional anatomy and pathophysiology. *Seminars in musculoskeletal radiology*, 14(2), 97–105.
2. Gilroy, A. M., MacPherson, B. R., & Wikenheiser, J. C. (2020). *Atlas of Anatomy*. Thieme. {<https://books.google.gr/books?id=yHb2DwAAQBAJ>}
3. Constantin-Teodosiu, D., & Constantin, D. (2021). Molecular Mechanisms of Muscle Fatigue. *International journal of molecular sciences*, 22(21), 11587. <https://doi.org/10.3390/ijms222111587>
4. Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified tissue international*, 96(3), 183–195.
5. Brooks S. V. (2003). Current topics for teaching skeletal muscle physiology. *Advances in physiology education*, 27(1-4), 171–182.
6. Vøllestad N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of neuroscience methods*, 74(2), 219–227.
7. Bar-Or O. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 4(6), 381–394. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704060-00001>
8. Κλεισουρας, Β. (2011). *Εργοφυσιολογία*. Ιατρικές Εκδόσεις Πασχαλίδης.

9. Walker, O. (2024). Wingate anaerobic test. *Science for Sport*.
10. Castañeda-Babarro, A., Arbillaga-Etxarri, A., Gutiérrez-Santamaría, B., & Coca, A. (2020). Physical Activity Change during COVID-19 Confinement. *International journal of environmental research and public health*, 17(18), 6878. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186878>
11. Wilson, Robert W II; Snyder, Ann C; Dorman, Jason C. Analysis of Seated and Standing Triple Wingate Tests. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(3):p 868-873, May 2009. | DOI: 10.1519/JSC.0b013e31819d0932
12. Hei, M. V., Shute, R., Marshall, K., Larson, C., & Slivka, D. (2018). Skeletal Muscle Mitophagy In Response To Cold Exposure During Exercise. *Exercise Physiology Lab*.
13. Nybo, L., & Rasmussen, P. (2007). Inadequate cerebral oxygen delivery and central fatigue during strenuous exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 35(3), 110–118.
14. Orcioli-Silva, D., Beretta, V. S., Santos, P. C. R., Rasteiro, F. M., Marostegan, A.B., Vitorio, R., Gobatto, C. A., & Manchado-Gobatto, F. B. (2024). Cerebral and muscle tissue oxygenation during exercise in healthy adults: A systematic review. *Journal of sport and health science*, S2095-2546(24)00026-7.
15. Rooks, C. R., Thom, N. J., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2010). Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Progress in neurobiology*, 92(2), 134–150.
16. Smith, K. J., & Billaut, F. (2010). Influence of cerebral and muscle oxygenation on repeated-sprint ability. *European journal of applied physiology*, 109(5), 989–999
17. Bhambhani, Y., Fan, J. L. F. L., Place, N., Falces, J. R., & Kayser, B. (2014). Electromyographic, cerebral, and muscle hemodynamic responses during intermittent, isometric contractions of the biceps brachii at three submaximal intensities. *Frontiers in Physiology*, 5 - 2014. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00190>
18. Tosh, W., & Patteril, M. (2016). Cerebral oximetry. *BJA Education*, Volume 16(12), Pages417–421. <https://doi.org/10.1093/bjaed/mkw024>

19. Bonetto, A., & Bonewald, L. F. (2019). Bone and muscle. In *Basic and Applied Bone Biology* (pp. 317-332). Academic Press.
20. Braz, I. D., & Fisher, J. P. (2016). The impact of age on cerebral perfusion, oxygenation and metabolism during exercise in humans. *The Journal of physiology*, 594(16), 4471–4483. <https://doi.org/10.1113/JP271081>
21. Denault, A., Deschamps, A., & Murkin, J. M. (2007). A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Seminars in cardiothoracic and vascular anesthesia*, 11(4), 274–281. <https://doi.org/10.1177/1089253207311685>



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Έντυπο Συγκατάθεσης Κατόπιν Ενημέρωσης

Καλείστε να συμμετέχετε σε μια έρευνα που διεξάγεται από την φοιτήτρια της ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ Ε.ΚΟΚΟΛΙΟΥ στο πλαίσιο της πτυχιακής διατριβής του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο: **Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΣΚΗΣΗ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ ΚΑΙ ΜΥΙΚΗ ΟΞΥΓΟΝΩΣΗ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΦΗΒΩΝ ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΩΝ ΠΟΔΗΛΑΤΩΝ**

Η συμμετοχή σας είναι εθελοντική. Μπορείτε να αφιερώσετε όσο χρόνο χρειάζεστε για να διαβάσετε το παρόν Έντυπο Συγκατάθεσης Κατόπιν Ενημέρωσης. Μπορείτε επίσης, αν αποφασίσετε, να το συζητήσετε με την οικογένεια ή τους φίλους σας. Θα σας δοθεί αντίγραφο αυτού του εντύπου. Η ανάγνωση και υπογραφή του παρόντος Εντύπου Συγκατάθεσης είναι αναγκαία προϋπόθεση της συμμετοχής σας στην παρούσα έρευνα.

Την ευθύνη εκτέλεσης και περάτωσης της εργασίας έχει η Ε.ΚΟΚΟΛΙΟΥ, 6949108161. Η έρευνα γίνεται με την επίβλεψη του Χ. Γιαννακόπουλου, Επ. Καθηγητή ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ (6972099911, C.Yiannakopoulos@phed.uoa.gr).

Η ερευνητική πρόταση έχει εγκριθεί με την υπ' αριθμόαπόφαση της Επιτροπής Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής του τμήματος.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της αναερόβιας κόπωσης στην μυϊκή οξυγόνωση. Μέσω της επικείμενης πειραματικής διαδικασίας θα διερευνηθεί αν θα υπάρξει διαφορά στην εγκεφαλική οξυγόνωση μετά την αναερόβια μυϊκή κόπωση, καθώς επίσης αν θα υπάρξει αλλαγή στην μυϊκή οξυγόνωση μετά την επίτευξη αναερόβιας κόπωσης. Η πειραματική διαδικασία θα επικεντρωθεί στον τετρακέφαλο μυ για την διεξαγωγή των συμπερασμάτων που αφορούν τη μυϊκή οξυγόνωση.
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ
Οι εξεταζόμενοι δεν θα πρέπει να έχουν ασκηθεί σε βαθμό κόπωσης τουλάχιστον 72 ώρες από την συμμετοχή τους, να έχουν πάρει φάρμακα και να μην έχουν καταναλώσει τροφές που επηρεάζουν την καρδιακή λειτουργία. Θα πραγματοποιηθεί διαδικασία αναερόβιας κόπωσης σε κυκλοεργόμετρο. Συγκεκριμένα θα εφαρμοστεί το πρωτόκολλο αναερόβιας κόπωσης Wingate Anaerobic Test (WANT). Σε κάθε εξεταζόμενο θα τοποθετηθούν: α) στους εξεταζόμενους μύες ένας αισθητήρας ηλεκτρόδιο INVOS, β) αισθητήρες οξυμετρίας στην μετωπιαία χώρα Invos 5100C. Θα καταγράφονται σε κάθε στάδιο η μυϊκή και η εγκεφαλική οξυγόνωση. Η διάρκεια της κόπωσης θα διαρκέσει συνολικά έως 15 λεπτά, ενώ οι εξεταζόμενοι θα παραμένουν στον χώρο εξέτασης για συνολικό χρόνο περίπου 30 λεπτών. Η έρευνα θα πραγματοποιηθεί σε ειδικό

χώρο στην ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ μετά από έγκριση και της επιστημονικής επιτροπής. Η διάθεση του χώρου και των υλικών θα είναι δωρεάν.

ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Δεν υπάρχουν προβλέψιμοι κίνδυνοι που να προκύπτουν από τη συμμετοχή των δοκιμαζόμενων στην παρούσα έρευνα. Εάν αισθανθείτε δυσφορία κατά την συμμετοχή σας στην μελέτη καλείστε να ενημερώσετε άμεσα τους ερευνητές και η συμμετοχή σας θα διακοπεί. Αν και ιδιαιτέρως μη πιθανό, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης ταχυκαρδίας, αισθήματος παλμών, αύξησης ή μείωσης της αρτηριακής πίεσης και του κορεσμού του αίματος σε οξυγόνο, απώλειας αισθήσεων, καρδιακής ανακοπής, ισχαιμίας μυοκαρδίου, αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου, επιληψίας, μυοσκελετικών κακώσεων ακόμα και αιφνίδιος θάνατος.

ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΑ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

Η γνώση της επίδρασης της αναερόβιας κόπωσης στην μυϊκή και εγκεφαλική οξυγόνωση βοηθά στην κατανόηση των μηχανισμών της αναερόβιας κόπωσης. Οι εξεταζόμενοι θα ενημερωθούν για την μυϊκή και εγκεφαλική οξυγόνωση τους σε συνθήκες κόπωσης. Δεν θα υπάρξει άλλο άμεσο ή έμμεσο όφελος από τους δοκιμαζόμενους. Σε περίπτωση που προκύψουν κατά τη διάρκεια της έρευνας ευρήματα που σας αφορούν και πιθανώς έχουν σημασία για την υγεία σας, θα έχετε την δυνατότητα να ενημερωθείτε, εάν το θελήσετε.

ΑΠΟΖΗΜΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ

Η έρευνα αυτή δεν λαμβάνει χρηματοδότηση από κανένα φορέα. Δεν υπάρχει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από τη συμμετοχή σας στην παρούσα έρευνα. Η έρευνα πραγματοποιείται για καθαρά ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Δεν υπάρχει όφελος για τους συμμετέχοντες πέραν της ικανοποίησης από τη συμμετοχή τους στο συγκεκριμένο επιστημονικό έργο. Η συμμετοχή σας είναι απολύτως εθελοντική. Με αυτή την ενημέρωσή σας αναγνωρίζεται ότι δεν έχετε άμεσο ή έμμεσο οικονομικό ή άλλο όφελος βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα.

ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΗ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ ΣΥΜΦΕΡΟΝΤΩΝ

Κατά τη δήλωση των ερευνητών δεν υπάρχει σύγκρουση συμφερόντων από τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας.

ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ

Δεν θα συλλεχθεί ή αποκτηθεί οποιαδήποτε πληροφορία οι οποίες θα μπορούσε να σας ταυτοποιήσει. Οι πληροφορίες που θα μας δώσετε θα ανωνυμοποιηθούν/ψευδοανωνυμοποιηθούν/κωδικοποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι δυνατόν να αποκαλυφθεί η ταυτότητά σας σε τρίτους. Επίσης, η ταυτότητά σας δεν θα αποκαλυφθεί σε πιθανές δημοσιεύσεις, παρουσιάσεις ή επιστημονικές αναφορές που θα προκύψουν από τη συγκεκριμένη μελέτη. Όλες οι πληροφορίες θα παραμείνουν απόρρητες και θα αποκαλυφθούν μόνο με την άδειά σας. Τα δεδομένα θα φυλάσσονται με ευθύνη του ερευνητή. Θα υπάρξει πλήρης ανωνυμία/εχεμύθεια/εμπιστευτικότητα σχετικά με τα

προσωπικά σας δεδομένα με την κωδικού αριθμού. Σε περίπτωση φωτογράφισης ή βιντεοσκόπησης έχετε το δικαίωμα να αρνηθείτε οποιαδήποτε στιγμή. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της έρευνας δημοσιευτούν ή παρουσιαστούν σε συνέδρια ή χρησιμοποιηθούν για διδακτικούς λόγους δεν θα συμπεριληφθούν πληροφορίες που θα αποκαλύπτουν την ταυτότητά σας εκτός εάν σας ζητηθεί σε αυτή την περίπτωση έγγραφη συγκατάθεση. Σε περίπτωση που φωτογραφίες σας, βίντεο ή ακουστικές ηχογραφήσεις χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς, η ταυτότητά σας θα προστατεύεται ή θα συγκαλύπτεται. Προκειμένου να διασφαλιστεί κατά το δυνατόν η τήρηση της εμπιστευτικότητας εκ μέρους όλων καλούμε να δεσμευτείτε α) ότι δεν θα αποκαλύψετε πληροφορίες που ήρθαν σε γνώση σας στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας β) α-κόμη κι αν κοινοποιήσετε ή χρησιμοποιήσετε πληροφορίες που ήρθαν σε γνώση σας στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας δεν θα αναφέρετε ούτε το όνομα ούτε άλλα στοιχεία της ταυτότητας των άλλων εξεταζόμενων που συμμετείχαν στην έρευνα και γ) δεν θα αναφέρετε ότι λάβατε αυτές τις πληροφορίες κατά τη συμμετοχή σας στην εν λόγω έρευνα. Όλοι οι συμμετέχοντες έχουν δυνατότητα ενημέρωσης, είτε ο καθένας για τον εαυτό του ή για τα γενικά αποτελέσματα, αν επιθυμούν. Σύμφωνα με το άρθρο 5 στοιχ.ε του Κανονισμού 2016/679 (GDPR), τα δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα μπορούν να αποθηκεύονται για διάστημα μεγαλύτερο αυτού κατά το οποίο διεξάγεται η ερευνητική διαδικασία, εφόσον εφαρμόζονται τα κατάλληλα τεχνικά και οργανωτικά μέτρα που απαιτεί ο Κανονισμός 2016/679 (GDPR) για τη διασφάλιση των δικαιωμάτων και ελευθεριών του υποκειμένου (ή των υποκειμένων) των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί στο πλαίσιο της έρευνας. Σε αυτήν τη βάση, τα δεδομένα της παρούσας έρευνας θα διατηρηθούν για τρία χρόνια μετά το πέρας αυτής. Επιπρόσθετα, όσον αφορά στην ανάγκη περαιτέρω (δευτερογενούς) επεξεργασίας των προσωπικών δεδομένων, σύμφωνα με το άρθρο 5 στοιχ. β του Κανονισμού 2016/679 (GDPR), για λόγους ερευνητικούς, η δευτερογενής επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων θεωρείται συμβατή με τους αρχικούς σκοπούς της επεξεργασίας χωρίς να γίνεται λόγος περί της ανάγκης λήψης τεχνικών και οργανωτικών μέτρων. Κατά συνέπεια, τα προσωπικά δεδομένα της παρούσας έρευνας δύνανται να χρησιμοποιηθούν και από άλλες έρευνες που θα εγκριθούν αρμοδίως χωρίς να χρειαστεί να δοθεί εκ νέου η συγκατάθεση των συμμετεχόντων.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΚΑΙ ΑΠΟΧΩΡΗΣΗ

Μπορείτε να επιλέξετε να συμμετέχετε ή όχι στην παρούσα έρευνα. Αν συμμετέχετε εθελοντικά σε αυτή την έρευνα, μπορείτε να αποχωρήσετε οποιαδήποτε στιγμή χωρίς καμία συνέπεια. Μπορείτε επίσης να αρνηθείτε να απαντήσετε σε οποιεσδήποτε ερωτήσεις δεν επιθυμείτε να απαντήσετε και να παραμείνετε στην έρευνα. Σε αυτή την περίπτωση μπορείτε να ζητήσετε να διαγραφούν τα δεδομένα και οι πληροφορίες που έχουμε συλλέξει. Ο ερευνητής μπορεί να σας ζητήσει να αποσυρθείτε από την έρευνα αν ανακλύσουν περιστάσεις που το απαιτούν. Η διάρκεια συμμετοχής στην έρευνα θα είναι περίπου 30 λεπτά.

ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ

Μπορείτε να αποσύρετε τη συγκατάθεσή σας οποιαδήποτε στιγμή και να διακόψετε τη συμμετοχή σας χωρίς να υποστείτε καμία κύρωση.

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ

Αν έχετε οποιοσδήποτε ερωτήσεις ή επιθυμείτε οποιαδήποτε πληροφορία σχετικά με την έρευνα, μη διστάσετε να επικοινωνήσετε με τους ερευνητές.

Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο έρευνας με τίτλο: **Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΣΚΗΣΗ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ ΚΑΙ ΜΥΙΚΗ ΟΞΥΓΟΝΩΣΗ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΦΗΒΩΝ ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΩΝ ΠΟΛΗΛΑΤΩΝ** που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, β) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις, γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι, δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική, ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου και στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω, χωρίς να έχω την υποχρέωση να εξηγήσω τους λόγους για τους οποίους θα το κάνω.

Συγκατάθεση/Συναίνεση συμμετέχοντα στην έρευνα

Έχω διαβάσει τις παρεχόμενες πληροφορίες ή μου τις έχουν διαβάσει. Είχα την ευκαιρία να κάνω ερωτήσεις σχετικά με το περιεχόμενο της ενημέρωσης και όλες οι ερωτήσεις μου απαντήθηκαν ικανοποιητικά. Θα μου δοθεί αντίγραφο του εντύπου συγκατάθεσης και ο ερευνητής θα φυλάξει ένα άλλο αντίγραφο στο αρχείο του. Συμφωνώ οικειοθελώς να συμμετάσχω σε αυτή την μελέτη/έρευνα. Αυτή η μελέτη μπορεί να περιλαμβάνει βιντεοσκόπηση/φωτογράφιση/ηχογράφιση. Συμφωνώ να πραγματοποιηθεί βιντεοσκόπηση / φωτογράφιση / ηχογράφιση.

Όνοματεπώνυμο Εξεταζόμενου/Εθελοντή	Ημερο- μηνία	Υπογραφή
-------------------------------------	-----------------	----------

Δήλωση του ερευνητή που λαμβάνει τη συγκατάθεσή του συμμετέχοντα

Έχω ενημερώσει με ακρίβεια το έντυπο ενημέρωσης στον εθελοντή συμμετέχοντα είμαι βέβαιος ότι έχει πλήρως κατανοήσει το ερευνητικό πρωτόκολλο και τα οφέλη της μελέτης. Επιβεβαιώνω ότι δόθηκε στον συμμετέχοντα η ευκαιρία να υποβάλει ερωτήσεις σχετικά με τη μελέτη και ότι όλες οι ερωτήσεις που τέθηκαν από τον συμμετέχοντα έχουν απαντηθεί σωστά και με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Επιβεβαιώνω ότι ο συμμετέχων δεν έχει εξαναγκαστεί να δώσει τη συγκατάθεσή του και ότι η συγκατάθεση δόθηκε ελεύθερα και οικειοθελώς. Ένα αντίγραφο του εντύπου συγκατάθεσης έχει δοθεί στον συμμετέχοντα.

--	--	--

Όνοματεπώνυμο Ερευνητή	Ημερο- μηνία	Υπογραφή
------------------------	-----------------	----------